

50X1-HUM

Page Denied

Next 1 Page(s) In Document Denied

U M S C H A U

In der Zeitschrift „DIE NATURWISSENSCHAFTEN“ 44, 315, 1957, hat Prof. Dr. Karl Wirtz, Göttingen, eine interessante Besprechung der 16 Bände des offiziellen Berichtes über die „Konferenz für die friedliche Anwendung der Atomenergie“ vom August 1955 veröffentlicht.

Aus dieser Besprechung geht hervor, daß etwa 1 100 Vorträge bei der Konferenzleitung eingebracht wurden, die auf der Konferenz nicht alle gehalten werden konnten, aber alle in den „Proceedings of the International Conference of the Peaceful Uses of Atomic Energy“ Aufnahme fanden.

Um einen Überblick in die Fülle des Materials zu geben, seien hier die Titel und Seitenzahlen der einzelnen Bände aufgeführt:

- Band 1:
The Worlds Requirements for Energy: The Role of Nuclear Power. (XII + 482 Seiten)
- Band 2:
Physics, Research Reactors. (VIII + 477 Seiten)
- Band 3:
Power Reactors. (VIII + 392 Seiten)
- Band 4:
Cross-Sections Important to Reactor Design. (VIII + 360 Seiten)
- Band 5:
Physics of Reactor Design. (VIII + 550 Seiten)
- Band 6:
Geology of Uranium and Thorium. (X + 830 Seiten)
- Band 7:
Nuclear Chemistry and the Effects of Irradiation. (X + 694 Seiten)
- Band 8:
Produktion Technology of the Materials Used for Nuclear Energy. (X + 630 Seiten)
- Band 9:
Reactor Technology and Chemical Processing. (X + 774 Seiten)
- Band 10:
Radioactive Isotopes and Nuclear Radiations in Medicine. (X + 548 Seiten)
- Band 11:
Biological Effects of Radiation. (X + 406 Seiten)
- Band 12:
Radioactive Isotopes and Ionizing Radiations in Agriculture, Physiology and Biochemistry. (X + 556 Seiten)
- Band 13:
Legal, Administrative, Health and Safety Aspects of Large Scale Use of Nuclear Energy. (VIII + 396 Seiten)
- Band 14:
General Aspects of the Use of Radioactive Isotopes; Dosimetry. (VIII + 308 Seiten)
- Band 15:
Applications of Radioactive Isotopes and Fission Products in Research and Industry. (VIII + 330 Seiten)
- Band 16:
Record of the Conference. (X + 206 Seiten)
- Prof. Wirtz ist der Meinung, daß die Genfer Atom-Konferenz und die vorliegenden 16 Bände dem neuen Gebiet der angewandten Physik, der Kerntechnik, seine Struktur gegeben haben und daß diese Bände für die nächsten Jahre das unentbehrliche Handwerkszeug für die Weiterentwicklung der Kerntechnik sein werden.

Zirkonium als Reaktormaterial

Paulsen, ATOMICS 8, 121, 1957

Das Zirkonium ist kein sehr verbreitetes Element, doch ist es noch häufiger als Kupfer, Blei, Nickel oder andere Schwermetalle, nur kommt es in geringeren Konzentrationen vor. Die häufigsten Minerale sind $ZrSiO_4$ und ZrO_2 . Die Vorräte der USA werden auf 10.10%, die Brasiliens auf über 2.10%, die Ceylons auf über 1.10% und die Indiens auf 5.10% geschätzt.

Das Metall findet zunehmende Verwendung in der Reaktor-Technik. Die bisher bedeutendste Anwendung war die im thermischen Reaktor des U-Bootes „Nautilus“. Es ist wichtig für Reaktoren, in denen besonders auf die Neutronen-Ökonomie Wert gelegt werden muß. Denn hochwertige Stähle mit den nötigen mechanischen und Korrosionseigenschaften haben einen zu großen Einfangquerschnitt für thermische Neutronen (V_2A -Stahl : 3 barn). Dagegen beträgt der Wirkungsquerschnitt des Zirkoniums nur 0,2 barn. Außerdem hat das Zirkonium gute mechanische Eigenschaften, selbst unter extremen Drücken und Temperaturgradienten. Auch zur Umkleidung der Brennstoff-Elemente ist es wegen seiner Wärme-, Strahlungs-, Oxydations- und Korrosionsbeständigkeit ideal geeignet. Zirkonium kann für etliche Tausend Stunden Wasser von 400° C ausgesetzt werden, ohne daß nennenswerte Korrosion auftritt. Es widersteht der Luft bis 480° C und einigen geschmolzenen Metallen bis 600° C. Allerdings lassen die mechanischen Eigenschaften bei solch hohen Temperaturen etwas nach.

Soll das Zirkonium im Reaktor verwendet werden, muß es vollständig frei von Hafnium sein.

Die erforderlichen Reinheitsgrade sind nur sehr schwierig zu erreichen, doch sind sie nötig, da Hafnium sehr stark Neutronen absorbiert. Weiterhin müssen Stickstoff und Sauerstoff vom Zirkonium ferngehalten werden, da sie das Material spröde machen. Zusätze von Aluminium, Titan und anderen Metallen setzen die Korrosionsbeständigkeit herab.

Im Natrium-gekühlten, Graphit-moderierten Reaktor des „Nautilus“ dient das Zirkonium als Umhüllung des Moderators und steht in direktem Kontakt mit dem geschmolzenen Metall. Es stellte sich ein großer Einfluß der Verunreinigungen des Natriums auf die Beständigkeit des Zirkoniums heraus. Um den Sauerstoffgehalt des Zirkoniums unter 0,5 Gew.-% zu halten, hätte der des Natriums nur 10⁻¹⁰ % betragen dürfen. Solche niedrigen Sauerstoffkonzentrationen sind aber nicht erreichbar; deshalb wurde das Problem dadurch gelöst, daß man dem Zirkonium Zusätze mit einer Art „Getter-Wirkung“ beigab.

Wie die meisten Metalle unterliegt auch das Zirkonium bei der Bestrahlung im Reaktor gewissen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften. Denn ein Reaktorkern stellt eine sehr starke Gamma-Quelle von etwa 10⁹ Curie dar (ein sehr starkes Röntgen-Tieftherapiegerät entspricht vergleichsweise etwa 2 500 Curie). Dazu kommen noch bis 10¹⁵ Neutronen/cm².sec. Die Strahlung verursacht und beschleunigt die Korrosion und ändert die mechanischen Eigenschaften des Zirkoniums. Durch eine Behandlung bei höheren Temperaturen lassen sich aber die auftretenden Gitterdeformationen wieder rückgängig machen.

4. Experimentelle Technik und Geräte

Pumpen für flüssige Metalle

ATOMICS 7, 175, 1956

Es werden zwei Arten elektromagnetischer Pumpen beschrieben. Für Metalle hoher Dichte und Viskosität wie z. B. Bi und Hg verwendet man eine sog. Gleichstrom - Leitungs - Pumpe. In dieser läßt man einen Strom senkrecht zur gewünschten Bewegungsrichtung durch das flüssige Metall fließen, und durch ein geeignet ge-

richtetes Magnetfeld wird dann die Bewegung verursacht. Unangenehm sind die sehr hohen benötigten Querströme (10⁸ A bei 2,5 V) und der niedrige Wirkungsgrad von etwa 40 %.

Für Na mit seiner niedrigen Dichte und Viskosität läßt sich mit weniger Aufwand eine sog. Induktions-Pumpe nach dem Prinzip des Induktionsmotors betreiben. Aber auch hier lassen sich nur Wirkungsgrade erreichen, die nur wenig größer als 40 % sind.

3. Kernphysikalische Probleme

Die seltenen Erden als zukünftige Reaktor - Kontroll - Materialien

W. K. Anderson, NUCLEONICS, 15, 44, 1957

Die Kontrollstäbe in Reaktoren enthalten Elemente, die für thermische bzw. epithermische Neutronen einen möglichst hohen Wirkungsquerschnitt besitzen. Der Verfasser gibt einen Überblick über die bisher verwendeten Materialien:

1. Bor in Form von Borstählen bzw. Bor-Titanlegierungen. Das B^{10} besitzt einen $1/v$ -Wirkungsquerschnitt und ist als Kontrollmaterial besonders gut geeignet, da es auch stark epithermische Neutronen absorbiert. Der Absorptionsmechanismus ist aber eine (n, α) -Reaktion, so daß Bor-haltige Kontrollstäbe bei längerer Benutzung starken Strahlenschädigungen metallurgischer Art unterworfen sind.
2. Das Element Hafnium hat den Vorteil, daß die durch (n, γ) -Reaktionen entstehenden Tochterkerne auch wieder Neutronen absorbieren. Der Verbrauch an absorbierenden Kernen im Kontrollstab ist also sehr gering. Weiterhin ist auch noch eine Anzahl Resonanzstellen im epithermischen Bereich vorhanden. Doch ist der thermische Wirkungsquerschnitt so gering, daß die Kontrollstäbe aus reinem Hafnium bestehen müssen.
3. Das Cadmium besitzt einen niedrigen Schmelzpunkt und schlechte metallurgische Eigenschaften, so daß es kaum verwendet wird.

Einige der Seltenen Erden wie Samarium, Gadolinium und besonders Europium besitzen ebenfalls günstige Eigenschaften, die dem Verfasser eine Verwendung als Kontroll-Material äußerst günstig erscheinen lassen. Es wird betont, daß die Seltenen Erden keineswegs so selten sind, wie es der Name vermuten läßt. Das Europium besitzt eine Häufigkeit von $1,4 \cdot 10^{-5} \%$ der Erdrinde, dagegen Silber $4 \cdot 10^{-6} \%$ und Gold $5 \cdot 10^{-7} \%$. Nur findet es sich in wesentlich geringeren Konzentrationen als die erwähnten Metalle. Eine Ein-

führung des Europiums in die Reaktortechnik wäre also möglich.

Das Isotop Eu^{151} mit einer Häufigkeit von 47,8 % liefert durch (n, γ) -Reaktionen vier absorbierende Tochterkerne:

Isotop	Thermischer Wirkungsquerschnitt $1 \text{ barn} = 1 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$	Häufigkeit	Zerfall	Halbwertszeit
Eu^{151}	9000 ± 3000	47,77 %		
Eu^{152}	5500 ± 1500		$85\% \beta^-$	13 a
Eu^{153}	420 ± 100	52,23 %		
Eu^{154}	1500 ± 400		β^-	16 a
Eu^{155}	14000 ± 4000		β^-	1,7 a

Eine Zerstörung des Eu-haltigen Kontrollstabes während des Betriebes tritt nicht auf. Die metallurgischen Eigenschaften des Europiums sind noch unbekannt, doch sind Eu_2O_3 -Dispersionen in Stahllegierungen brauchbar. Der Verfasser errechnet die für einen 100 MW-Reaktor nötige Eu-Menge zu 12 kg. Sehr interessant ist ein Vergleich der Kosten der Kontrollstäbe für einen 100 MW-Reaktor bei Benutzung verschiedener Materialien:

Material	Material-	Bearbeitungs-	Gesamt-
	Kosten (Dollar)		
Hafnium	172 000	120 000	292 000
Eu_2O_3 in Stahl	65 000	80 000	145 000
Titan-Bor 2 Gew. % B^{10}	50 000	80 000	130 000

Der Preis des Europiums hängt stark von der produzierten Menge ab. Es wird für die Verhältnisse in den USA ein Preisabfall von 120 Dollar pro g Eu_2O_3 im Jahre 1954 auf 5 Dollar pro g im Jahre 1956 angegeben.

Kernenergie - Batterien

ATOMNAJA ENERGIJA 1, 115, 1956

Wenn man die Einteilung des vorhergehenden Referats beibehält, gibt es zu den einzelnen Typen von Batterien in diesem sowjetischen Artikel noch die folgenden zusätzlichen Bemerkungen:

1. „Beta-Strom“-Typ

Batterien dieser Art geben natürlich nur eine geringe Stromstärke, etwa 10^{-10} – 10^{-12} A, und werden als Anodenspannungsquellen für Braunsche Röhren und Teilchenbeschleuniger verwendet. Der Wirkungsgrad beträgt im Idealfall 1 bis 1,5%. Verwendet man als Strahlungsquelle ein Gemisch von Sr^{90} und Y^{90} mit einer Intensität von 10 mC, so kann diese Batterie eine Energie von 10^{-12} A bei 10 kV 25 Jahre hindurch abgeben, wenn nur das Polystyrol-Dielektrikum seine Eigenschaften behält. Außer Sr^{90} und Y^{90} kann man auch andere nicht zu energiereiche β -Strahler, darunter Tritium, verwenden.

3. „(p,n)-Verbindungs“-Typ

Werden (p,n)-Halbleiter mit β -Strahlen, z. B. von einer Sr^{90} - Y^{90} -Quelle, bestrahlt, so werden sie zu elektrischen Energiequellen. (p,n)-Halbleiter aus Silizium und Germanium mit einer Fläche von $0,25 \text{ cm}^2$ wurden untersucht; die radioaktive Strahlungsquelle ($\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$) hatte eine Stärke von 90 mC. Das Siliziumelement gab eine Spannung von 0,25 V und einen Kurzschlußstrom von 10^{-5} A; die entsprechenden Werte betragen für Germanium 0,03 V und $2,5 \cdot 10^{-5}$ A; der Wirkungsgrad beider liegt bei 0,4%; ca. 2% müßten theoretisch zu erreichen sein.

20 kV - Sr^{90} - Batterien

NUCLEONICS 14, 71, 1956

Die Firma Radiation Research Corp., New York, bietet Kernbatterien des „Beta-Strom“-Typs an. Die Beta-Strahlung des Sr^{90} , das sich auf einer kugelförmigen Anode befindet, muß einen Polystyrol-Isolator durchdringen, um außen auf einer Aluminium-Hülle gesammelt zu werden. Die beiden beschriebenen Batterien liefern 20 kV bei einer Eigenkapazität von 10 pF. Das Modell F-10 enthält 2 mC Sr^{90} und liefert 10^{-11} A. Das Modell F-50 gibt bei 10 mC einen Strom von $50 \cdot 10^{-12}$ A ab. Eine Bleiabschirmung reduziert die Strahlung in 2,5 cm Entfernung von der Oberfläche der Batterie auf weniger als 7,5 mr/h, das ist etwa die Toleranzdosis. Das Modell F-50 besteht aus einem Zylinder von etwa 4 cm Höhe

und 2,5 cm Durchmesser, auf dem der isolierte Hochspannungsanschluß angebracht ist. Die Gesamthöhe beträgt kaum 7 cm.

Eine Neue Pm^{147} - Kernbatterie

NUCLEONICS 15, 99, 1957

In einer Kernbatterie des photoelektrischen Typs erregen die Beta-Teilchen des Promethiums-147 einen Phosphor, und eine Photozelle verwandelt das Licht in elektrische Energie. Im Vergleich zu den bisher gekannten Batterien liefert diese einen verhältnismäßig hohen Strom bei niedriger Spannung. Das beschriebene Modell enthält 4,5 C des Isotops und liefert $20 \mu\text{A}$ bei etwa 1 V. Die Batterie ist eine konstante Stromquelle, deren Ergiebigkeit mit der Halbwertszeit des Pm^{147} (2,6a) absinkt.

Das Pm^{147} ist in CdS als Phosphor eingebettet, der zwischen zwei Photozellen liegt. Kunststofffenster zwischen dem Phosphor und den Photozellen bremsen die β -Strahlung von 223 keV ab, so daß die Photozellen nicht von der Strahlung geschädigt werden können. Die Batterien können in beliebiger Größe hergestellt und wahlweise parallel oder in Reihe geschaltet werden. Es ist eine zylindrische Zelle von 1,5 cm Durchmesser und 0,5 cm Höhe skizziert. In den *Physikalischen Blättern* 3, (1957) werden weitere Angaben zu dieser Batterie gemacht. Danach wird die abgegebene Leistung ausreichen, um ein Transistorgerät (Sender oder Empfänger) zu betreiben. Die radioaktive Strahlung der Kernbatterie soll schwächer als die eines selbstleuchtenden Zifferblattes sein.

Ein besonderer Vorteil der Batterie besteht darin, daß sie gegenüber äußeren Einflüssen wie Temperaturwechsel und Druckänderungen völlig unempfindlich ist. Selbst Temperaturen bis -130°C schaden der Batterie nicht. Infolgedessen wird damit gerechnet, daß die Batterie sich besonders nützlich bei der Höhenforschung und bei ozeanographischen Messungen erweisen wird. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen bei ferngelenkten Geschossen, tragbaren Rundfunkgeräten, Hörapparaten und möglicherweise elektronischen Taschen- und Armbanduhren.

Vorläufig ist der Preis für Pm^{147} , einem Abfallprodukt von Kernreaktoren, noch außerordentlich hoch; er beträgt 500 Dollar pro Curie. Man rechnet aber damit, daß der Preis noch in diesem Jahre auf einen Bruchteil absinken wird, und daß dann eine Menge des radioaktiven Stoffes, die genügt, eine Armbanduhr 5 Jahre lang in Gang zu halten, nur noch 2 Dollar kosten wird.

treten wenig Verluste auf. Ein großer Teil der Energie der Betateilchen wird dadurch über Ionisierungsvorgänge verwertbar. Die erzeugten Ionenpaare werden im Feld der Kontaktpotentialdifferenz zwischen den Platten gesammelt. Die Spannung der Batterie ohne Belastung entspricht der Kontaktpotentialdifferenz.

Eine ähnliche Batterie wurde schon 1924 von Kramer gebaut und das Verfahren von Ohmert 1948 wiederentdeckt. Experimentell konnte bis jetzt die Hälfte der theoretischen Stromvervielfachung erreicht werden. Durch die Verwendung verschiedener Platten-Materialien konnten konstante Batteriespannungen von 1,1 bis 1,9 V erzielt werden.

Weiterhin werden noch einige Batterie-Typen beschrieben, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden:

4. „*Thermoelektrischer*“ Typ. Hier wird die Wärmeerzeugung bei der Strahlenabsorption durch ein Thermoelement ausgenutzt. Um Einflüsse von Raumtemperaturschwankungen auszuschließen, muß die heiße Verbindung des Thermoelementes auf relativ hohe Temperaturen gehalten werden, was große Aktivitäten erforderlich macht. In dem einzigen bisher gebauten Modell wurden 150 Curie des Alpha-Strahlers Po^{210} benutzt. Dieses Isotop hat eine Halbwertszeit von 138 Tagen. Die benutzte Menge stellt einen Wert von 375 000 Dollar dar.

5. „*Sekundär-Emissionszelle*“. Eine Sekundärelektronen abgebende Fläche wird mit Beta-Strahlen beschossen und die ausgelösten Elektronen auf einer gegenüberliegenden Elektrode gesammelt. Es findet eine geringe Stromvervielfachung statt. Man erhält eine Klemmenspannung von etwa 20 V, was der Maximalenergie der Sekundärelektronen entspricht.

6. „*Photoelektrischer*“ Typ. Mittels eines Phosphors wird die Energie der radioaktiven Strahlung in Licht verwandelt, das in einem Photoelement Elektronen auslöst. Somit wird auch wieder eine Quelle konstanten Stromes erhalten. Doch wurden noch keine Versuche in dieser Richtung unternommen.

Alle beschriebenen Kernbatterien haben einen Umwandlungs-Wirkungsgrad (Verhältnis der bei passender Belastung abgegebenen elektrischen Energie zur entwickelten Strahlungsenergie) zwischen 0,1 und 2%. Mit Ausnahme des Beta-Strom-Typen wird er, wie man theoretisch abschätzen kann, den Wert von 2% auch niemals überschreiten können.

Zur Kostenfrage dieser Batterien wird folgende Tabelle angegeben:

Isotop	Halbwertszeit	Kosten pro Curie (Dollar)	Kosten pro Wattstunde (Dollar)
Po^{210}	138 d	2500	1700
Kr^{85}	9,4 a	50	30
H^3	14,4 a	2	40
RaD	22 a	35000	375
Sr^{90}	25 a	500	30
Ni^{63}	85 a	11000	7950
C^{14}	5500 a	32000	150

Dabei sind die Kosten pro Wattstunde lediglich auf die Ausgaben für das in der Batterie enthaltene Isotop bezogen und gelten für die während einer Halbwertszeit abgegebene elektrische Energie bei 2% Umwandlungs-Wirkungsgrad.

Die billigsten Isotope sind Kr^{85} und Sr^{90} , doch sind bei deren Anwendung wegen der auftretenden Gamma-Strahlung Strahlenschutzprobleme zu berücksichtigen. In 0,65% der Kr^{85} -Zerfälle werden 0,6 MeV-Gamma-Quanten erzeugt. Beim Sr^{90} verursacht die 2,2 MeV-Beta-Strahlung des Y^{90} Bremsstrahlung. Deswegen erscheint die Verwendung des Tritiums am aussichtsreichsten. Aber selbst bei 30 Dollar pro Wattstunde sind solche Batterien nicht konkurrenzfähig. Die aus ihnen gewonnene elektrische Energie ist 1000 mal teurer als die aus konventionellen Batterien bzw. 10^6 mal teurer als die aus dem Netz entnommene.

Aber es gibt begrenzte Anwendungsmöglichkeiten, bei denen es gerade auf die besonderen Eigenschaften der Kernbatterien, lange Lebens- und Arbeitsdauer über einen sehr großen Temperaturbereich, ankommt. Aber stets muß bei einer Anwendung berücksichtigt werden, daß diese Batterien nur sehr geringe Leistungen abgeben, also nur in fast elektrostatischen Kreisen benutzt werden können.

Der Verfasser erwähnt geheimgehaltene militärische Anwendungsmöglichkeiten, die zweifelsohne in der Rakelentechnik liegen dürften. Von den nichtmilitärischen Anwendungen wird besonders die Hochspannungsversorgung von tragbaren Strahlungsmessgeräten betont. Es wird auch darauf hingewiesen, daß die Entwicklung konventioneller Batterien voranschreitet, so daß heute schon Batterien mit Arbeitsdauern von wesentlich mehr als zwei Jahren zur Verfügung stehen.

Boden verteilt werden können. Der Verfasser sieht nur den Ausweg, daß der Reaktor keine Spaltprodukte enthalten darf, d.h. ein Fusions-Reaktor sein müßte.

Die sowjetische Konzeption eines kern-energiegetriebenen Flugzeuges

NUCLEONICS 15, 25, 1957

Es werden Angaben von Sushkow aus „Komsomolskaja Pravda“ zitiert. Danach ist geplant, nicht über eine Dampfturbine die im Reaktor erzeugte Wärme zum Antrieb auszunutzen, sondern im Reaktor komprimierte Luft so stark zu erwärmen, daß ein ausreichender Schub entsteht. Als besondere Schwierigkeit wird das Problem

der Leitungen für die erhitzte Luft von etwa 900 — 1000° C erwähnt. Genügend temperaturbeständige Stähle und Legierungen sind nämlich zu schwer und haben ungünstige Neutronen-Wirkungsquerschnitte. Das geplante Flugzeug soll für einen Flug von Moskau nach Wladiwostok, bei einer Geschwindigkeit von etwa 900 km/h, 70 — 75 g Kernbrennstoff verbrauchen. Im Vergleich dazu benötigt eine Tu-104 für den gleichen Flug 150 000 kg Brennstoff. Teile des Flugzeuges sollen das Stadium der Konstruktion und der Erprobung schon überstanden haben. Als nächste Aufgabe soll der Bau eines Versuchsflugzeuges vorgesehen sein. Der Dezember 1955 wird als Anfangsdatum für die Versuche mit Kernenergie getriebenen Flugzeugen angegeben.

2. Anwendung von Isotopen

In vielen Vortragsabenden wurden Fragen nach Kernbatterien gestellt. Die folgenden Referate behandeln Probleme der Kernbatterien, wobei zu bemerken ist, daß das zweite Referat aus der ATOMNAJA ENERGIJA als Ergänzung der ersten Zusammenfassung dienen soll und deshalb sehr kurz ist.

Die Redaktion

TYPEN UND MÖGLICHE ANWENDUNG DER „KERNBATTERIEN“

A. Thomas, NUCLEONICS, 13, 129, 1955

Zunächst gibt der Verfasser einen Überblick über schon entwickelte Batterien:

1. „Beta-Strom“-Typ. Diese Batterie wurde schon 1913 von MOSELEY beschrieben. Eine Hohlkugel als Sammelelektrode enthält im Innern den als Anode dienenden Präparateträger, auf dem ein Beta-Strahler angebracht ist. Der Zwischenraum zwischen Emitter und Kollektor kann evakuiert sein, doch füllt man ihn jetzt nach neueren Ergebnissen mit einem isolierenden Kunststoff. Die vom Präparat ausgehenden schnellen Elektronen werden auf der Außenhülle gesammelt und es stellt sich zwischen den Elektroden eine Spannung von einigen kV ein. Höhere Spannungen können sich wegen der Isolationsverluste nicht ausbilden. Die Batteriespannung ist im Vergleich zur Elektronenenergie klein, so daß das elektrische Feld zwischen den Elektroden keinen Einfluß auf den Strom hat. Dieser Typ von Batterien wirkt als eine Quelle konstanten Stromes. Die Arbeitsspannung hängt von der Belastung ab. Gedacht ist diese Kernbatterie

für hohe Arbeitsspannungen von einigen kV. Dabei werden pro mC enthaltener Aktivität aber nur sehr geringe Ströme abgegeben (etwa 10^{-12} A), da keine Strom-Vervielfachungsprozesse benutzt werden. Diese Batterien haben den Vorteil einfacher Konstruktion.

2. „(p,n)-Verbindungs-Typ“. Hierbei dringen die Elektronen des Beta-Präparates in eine Silizium-Diode ein. Dadurch werden Elektronenlawinen ausgelöst, die vom Feld der Verbindungsstelle Silizium-Antimon gesammelt werden. Jedes Elektron erzeugt so im Kristall etwa 200 000 Elektronen. Der Vervielfältigungsmechanismus ist sehr wirkungsvoll, da für jedes erzeugte Elektron der Lawine nur 3 eV aufgebracht werden müssen. Die Spannung der Batterie beträgt 0,2 V, so daß eine große Zahl in Reihe geschaltet werden muß, um annehmbare Spannungen zu erhalten. Leider treten für Beta-Energien über etwa 200 keV Strahlenschäden auf. Änderungen in der Kristallstruktur des Siliziums geben dadurch z. B. einer Batterie mit 50 mC Sr^{90} nur eine Lebensdauer von einigen Wochen. Doch wurde auf der Genfer Konferenz schon über Versuche berichtet, diese Strahlenschäden zu beseitigen.

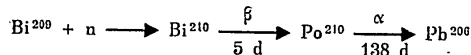
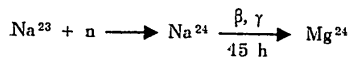
3. „Kontakt-Potential-Differenz“-Typ. In dieser Batterie stehen sich zwei Platten aus verschiedenen Metallen gegenüber. Der Raum zwischen ihnen ist mit Argon oder Krypton gefüllt, das Tritium enthält. Die Beta-Strahlung des Tritiums erzeugt eine Ionisation. Dabei wird für etwa je 30 eV der Beta-Energie ein Elektronenpaar erzeugt. Das bedeutet, daß die theoretische Stromvervielfachung etwa 10 % der des (p, n)-Verbindungs-Typus ist. Da das Tritium gasförmig ist,

einen einfachen Neutronenreflektor aus Graphit ersetzt werden. Leider ist die Brennstoffkonzentration durch die Löslichkeit des Urans in Wismut stark begrenzt (1,4 Gew.-% bei 580° C) und der Reaktor hat einen etwas größeren Kern als bei Verwendung von Brennstoffelementen.

Die Auswahl des geeigneten Kühlmittels ist bei schnellen Reaktoren nicht kritisch, bei thermischen muß jedoch auf einen geringen Einfangsquerschnitt geachtet werden:

Kühlmittel	Schmelzpunkt °C	Siedepunkt °C	therm. Einfangsquerschnitt barn
Bi	271	1477	$32 \cdot 10^{-3}$
Pb	326	1800	$170 \cdot 10^{-3}$
Li ⁷	179	1317	$33 \cdot 10^{-3}$
K	63,7	760	2,0
Na	97,8	883	0,49
Zn	231,6	2270	0,6

Von weiterer Bedeutung ist die durch Neutroneneinfang im Kühlmittel erzeugte Radioaktivität, z. B.:



Enthält der primäre Kühlkreis des Reaktors Natrium, so muß es also abgeschirmt werden. Im Falle eines Reaktors mit flüssigem Uran-Wismut machen die verzögerten Spaltungsneutronen den gesamten ersten Kreis aktiv. In beiden Fällen muß das Gewicht eines zweiten Metall-Kühlkreises, der über einen Wärmeaustauscher mit dem ersten Kreis verbunden ist, gegen das Gewicht einer zusätzlichen Abschirmung des ersten Kreises abgewogen werden, um das Flugzeuggewicht möglichst klein zu halten.

Die Stabilität des verwendeten Reaktors sollte durch einen negativen Temperaturkoeffizienten gesichert werden. Dabei nimmt dann die Spaltungsrate mit zunehmender Temperatur ab. Eine zusätzliche Kontrolle der Reaktivität ist aber auch dann nötig. Dafür gibt es in einem thermischen Reaktor drei Möglichkeiten:

1. Kontrollstäbe; sie vergrößern den Reaktorkern und sind für schnelle Reaktoren nicht brauchbar,

2. Bewegung des Reflektors; diese Methode ist für ein Flugzeug nicht anwendbar, da auch ein großer Teil der Abschirmung beweglich sein müßte.

3. Variation des Brennstoffgehaltes im Kern; dieser Weg erscheint am aussichtsreichsten und läßt sich auch auf Reaktoren mit flüssigem U—Bi, in denen zusätzlich regelbare Brennstoffelemente vorgesehen werden, anwenden.

Die Besatzung und Passagiere des Flugzeuges müssen vor der γ -Strahlung und den Neutronen des Reaktors geschützt werden. Zur Absorption der γ -Quanten sind besonders Elemente mit hoher Ordnungszahl geeignet, die naturgemäß sehr schwer sind. Die Neutronen müssen auf thermische Energie abgebremst und dann absorbiert werden. Eine Abschirmung könnte etwa aus Bleiplatten bestehen, die Bi²⁰⁹ enthalten und die sich mit Wasserschichten, die gelöste Borsalze enthalten, abwechseln. Das Wasser könnte auch gleichzeitig zur eventuellen Kühlung der Abschirmung dienen.

Bei der Berechnung der Abschirmung muß auch die Streuung von Neutronen und γ -Strahlung in der umgebenden Luft, am Erdboden oder an der Meeresoberfläche berücksichtigt werden, falls das Flugzeug sich in Bodennähe befindet. In größeren Höhen sind diese Einflüsse wegen der geringen Luftdichte nicht so bedeutsam, doch können auch Wolken oder Regen als Streukörper wirken. Tote Fracht und das Flugzeug selbst können durch die gestreute γ -Strahlung keinen Schaden erleiden. Eine Neutronenstreuung über längere Zeiten kann jedoch gefährliche Aktivitäten induzieren. Die Spaltprodukte erzeugen auch noch nach dem Abstoppen des Reaktors bei der Landung Strahlung und Wärme, so daß vorgeschlagen wurde, vor der Landung den Reaktor an einem Fallschirm abzuwerfen und während der Entladung und Wartung des Flugzeuges unter Wasser sicher aufzubewahren.

In der prinzipiellen Konstruktion des Flugzeuges muß der Reaktor natürlich möglichst weit von der Mannschaft und den Passagieren entfernt sein, um die umgekehrt mit dem Quadrat der Entfernung abnehmende Intensität der Strahlung auszunutzen. In einem reinen Lasten-Flugzeug kann natürlich die Abschirmung auch aufgeteilt werden, in dem ein Teil um die Mannschaftskabine herum angebracht wird.

Die größte Gefahr bei der Anwendung der Kernenergie für die Flugtechnik stellen Flugzeugunglücke dar, bei denen große Mengen hochradioaktiver Spaltprodukte in der Luft oder auf dem

NEUERE ARBEITEN

1. Kernenergietechnik

Kernkraft für die Luftfahrt

Porter, ATOMICS 8, 7, 1957

Der Artikel gibt grundsätzliche Betrachtungen zur Konstruktion eines kernenergiegetriebenen Flugzeuges mit großer Leistungsfähigkeit bei hohen Geschwindigkeiten.

Für ein Überschallflugzeug von 50 t Gesamtgewicht, das in 18 km Höhe Mach 2,5 als Dauer- geschwindigkeit erreicht, wird ein Schub von 13,5 t benötigt. (Die V-2-Rakete besaß einen Startschub von 9,8t). Werden Turbinen mit einer maximalen Gastemperatur von 800° C benutzt, ist für dieses Flugzeug ein Reaktor von wenigstens 260 MW thermischer Leistung nötig. Man benötigt also einen Reaktor, dessen Leistung mit denen der für Atomkraftwerke nötigen vergleichbar ist.

Für den Einbau im Flugzeug muß der Kern des Reaktors möglichst klein gehalten werden. Nicht nur der Kern selbst, sondern auch die nötige Abschirmung muß ein minimales Gewicht haben. Dabei ist zu berücksichtigen, daß das Gewicht der Abschirmung stark von der Größe des Kernes abhängt. Um die riesigen erzeugten Wärmemengen dem kleinen Reaktorkern zu entziehen, müssen flüssige Metalle als Kühlmittel benutzt werden; dieses verbindet den Vorteil niedrigen Dampfdruckes bei hoher Temperatur mit ausgezeichneten Wärmeübertragungseigenschaften.

Um die dabei auftretenden Betriebsverhältnisse zu veranschaulichen, wird als Beispiel der EBR-II-Reaktor angeführt. Bei einer Energiedichte von 0,70 MW/dm³ Wärme im Reaktorkern werden 50 000 l flüssiges Natrium pro Minute zur Kühlung benötigt.

Zur Reaktorkonstruktion wird bemerkt, daß heterogene Konstruktionen mit Brennstoff-Elementen zu große Wärmeübergangsflächen zwischen Brennstoffen und Kühlmitteln erfordern. Für reinen Brennstoff müßte das nötige Oberfläche/Volumen-Verhältnis der Brennstoffelemente so

groß sein, daß diese aus dünnen und zerbrechlichen Drähten bestehen müßten. Der reine Brennstoff muß deshalb verdünnt werden, was auch noch den Vorteil hat, daß ein größerer Bruchteil des enthaltenen spaltbaren Materials bis zur mechanischen Zerstörung der Elemente ausgenutzt werden kann. Zur Verdünnung werden besonders sog. „fruchtbare“ Materialien wie U²³⁵ und Th²³² geeignet sein, die sich durch Brutprozesse in spaltbares Material verwandeln. Der Brennstoff kann auch im Moderator oder im Kühlmittel verteilt werden. Schnelle Reaktoren benötigen hohe Investitionskosten für den Brennstoff (etwa 100 kg U²³⁵ bzw. Pu²³⁹). Darum wird man thermische bzw. mittelschnelle Reaktoren mit geringen Brennstoffmengen und Kosten bevorzugen. Es wird besonders der Gedanke hervorgehoben, durch geeignete Wahl der Kühlfüssigkeit eine zusätzlich moderierende Wirkung zu erzielen. Li⁷ mit seinem geringen Einfangsquerschnitt wäre dazu geeignet, wenn sich die Trennung vom Li⁶ nicht allzu teuer erweist. Die wesentlichen Nachteile eines thermischen Reaktors im Vergleich zu einem schnellen gleicher thermischer Leistung sind der größere Reaktorkern, die Tatsache, daß die im Reaktor vorhandenen Hilfskonstruktionen einen größeren Verlust an Reaktivität bedeuten und daß die Spaltprodukte im thermischen Reaktor wesentlich mehr absorbieren als im schnellen.

Die Schwierigkeiten der Wärmeübertragung im heterogenen Reaktor werden vermieden, wenn das geschmolzene Metall als Kühlmittel den Brennstoff als Dispersion oder Lösung mit sich führt. Thermische Reaktoren mit Graphit als Moderator und Uran in flüssigem Wismut gelöst, haben augenblicklich viel Interesse für Atomkraftwerke gewonnen. Ein festinstallierter Reaktor dieser Art besitzt eine Hülle, die sog. „blanket“, aus einem flüssigen Thorium-Wismut-Gemisch, in dem spaltbares U²³³ in solchen Mengen erzeugt wird, daß der Reaktor insgesamt mehr Brennstoff erzeugt, als er verbraucht. Für ein Flugzeug wäre ein solches Mehrgewicht aber untragbar, deshalb müßte die „blanket“ durch

Die beträchtlichen Veränderungen des elektrischen Zustandes in großen Teilen der irdischen Atmosphäre nach einer Atomwaffenexplosion können über Monate hinweg von der gleichen Größenordnung sein.

In dieser Beziehung wirkt sich also das Auftreten radioaktiver Substanzen nach der Explosion großer Wasserstoffbomben in einem Maße aus, das mit den natürlichen Schwankungen der Sonnenaktivität durchaus vergleichbar ist.

Schlußfolgerungen.

1. Selbst die Explosion großer Wasserstoffbomben mit einem Äquivalent von mehreren Millionen Tonnen Trinitrotoluol bleibt in ihrer Wirkung auf die Witterung innerhalb der für dieses Gebiet und die betreffende Jahreszeit charakteristischen natürlichen Schwankungen. Die Wärmewirkung, in der sich ja fast die gesamte Explosionsenergie äußert, ist in bezug auf Wetterbildung vollständig zu vernachlässigen.
2. Nur außerordentliche Störungen der normalen elektrischen Verhältnisse in großen Gebieten der Atmosphäre können auf indirektem Wege — vor allem durch Kondensationsvorgänge — zu Wetterveränderungen führen. In dieser Richtung sind weitere Untersuchungen nötig.

der Schwankungen der für die Jahre 1900 bis 1955 vorliegenden Mittelwerte.

Genau das gleiche Ergebnis erbrachten Beobachtungen, die an den verschiedensten Orten der USA durchgeführt wurden.

Die in den letzten Jahren in den USA zahlreicher gewordenen registrierten Orkane und Wirbelstürme haben weder in Hinblick auf die Zeit noch auf den Ort ihres Auftauchens irgendeine Beziehung zu Kernwaffenexplosionen. Die anwachsende Zahl der registrierten Orkane und Wirbelstürme ist, amerikanischen Angaben zufolge, nur auf eine Verbesserung des meteorologischen Dienstes und des gesamten Beobachtungswesens zurückzuführen.

Ähnlichkeit mit der Wirkung der Sonnenaktivität.

Auf der Sonnenoberfläche treten bekanntlich von Zeit zu Zeit Flecken und Protuberanzen auf, die immer einen steilen Anstieg der Ultraviolett- und Korpuskularstrahlung im Gefolge haben. Diese Erscheinungen kehren periodisch wieder, und zwar gibt es Perioden von elf Jahren, 80 bis 90 Jahren und andere. Viele dieser Erscheinungen überdauern mehrere Monate; das bedeutet mehrere Sonnenumläufe, denn die Sonne dreht sich in 28 Tagen einmal um ihre eigene Achse. So tritt also auch die Periode von 28 Tagen auf. Die genannten Vorgänge auf der Sonnenoberfläche wirken sich bekanntlich auf die elektromagnetischen Eigenschaften der obersten Schichten der Atmosphäre — zwischen 10 und 100 km Höhe — aus, ändern dort die Lage der ionisierten Schichten, lösen magnetische Wirbelstürme aus und rufen die Nordlichter hervor.

Auf diesem Gebiet kann man also Voraussagen treffen und sich zum Beispiel bei der Wahl der Wellenlängen und der Richtstrahler im Ultrakurzwellenverkehr auf die bestehenden Verhältnisse einstellen. Auch Veränderungen in der Zyklontätigkeit, Schwankungen der Oberfläche von Seen und Meeren und auch der Wachstumsgeschwindigkeit von Bäumen stehen in einem zwar erwiesenen, aber keineswegs geklärten Zusammenhang mit der Sonnenaktivität.

Ein großer Teil der durch die Sonnentätigkeit hervorgerufenen Strahlung dringt nicht durch die Atmosphäre hindurch, sie wirkt zunächst nur in der Stratosphäre. Die dort hervorgerufenen Veränderungen wirken sich dann ihrerseits auf die tieferliegenden Luftschichten aus. Die bemerkenswerteste aller Erscheinungen, die sowohl bezüglich ihrer Größenordnung als auch ihrer Eigenart durch die UV- und Teilchenstrahlung der Sonne einerseits, durch Atombombenexplosionen andererseits in den obersten Schichten der Atmosphäre hervorgerufen werden kann, ist eine bedeutende Erhöhung der Ionisation.

Wie man aus den magnetischen Stürmen und den Vorgängen in der Ionosphäre schließen kann, betragen die Schwankungen der Korpuskularstrahlen und der UV-Strahlen etwa 10 bis 100%.

Eine Erhöhung der Ionisation führt auch noch zu chemischen Vorgängen in der Atmosphäre, nämlich zur Bildung von Ozon, Stickoxyden und Wasserstoffperoxyd. Alle diese Stoffe erleichtern die Kondensationsprozesse. Die Menge der gebildeten Stickoxyde¹² z. B. ist vergleichbar mit jener, die von sämtlichen entsprechenden Industrieanlagen während eines Vierteljahres in die Luft geblasen wird.

Nach der Explosion macht sich eine Erhöhung der radioaktiven Produkte in den Niederschlägen bemerkbar, die aus der Detonationswolke herniedergefallen und die Atmosphäre „auswaschen“.

Die Kondensation des Wasserdampfes in der Troposphäre und Stratosphäre verursacht ferner eine Trübung, die eine Minderung der Sonneneinstrahlung verursacht. Es ist wahrscheinlich, daß dabei die durch Kondensation an den Aerosolen gebildeten Tröpfchen wirksamer sind als die Aerosole selbst.

Änderungen in der Wetterlage.

Wir haben jetzt die physikalisch bedingten Beziehungen zwischen den Auswirkungen einer Explosion und den meteorologischen Erscheinungen erkannt und wollen nun die Veränderungen gegenüber dem sonst natürlich verlaufenden Wetter auffinden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Wetterlage vom Gebiet der Explosion und der ursprünglichen radioaktiven Wolke bis zu einer Entfernung von einigen hundert oder tausend Kilometern vom Epizentrum zu analysieren. Die Wetterverhältnisse in diesem Gebiet zu registrieren, ist einfach; schwieriger ist es aber zu sagen, wie das Wetter verlaufen wäre, wenn keine Kernexplosion stattgefunden hätte. Soweit uns bekannt ist, wurden solche Untersuchungen nicht durchgeführt, doch geht aus veröffentlichtem Material hervor, daß keinerlei besondere Witterungserscheinungen, die über die Grenzen der für das betreffende Gebiet und die Jahreszeit zu erwartenden Schwankungen hinausgingen, beobachtet wurden.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Beobachtung von länger andauernden, durch die Wirkung von radioaktiven Produkten geringer Konzentration bedingten Erscheinungen, die sich über einen beträchtlichen Teil der Erdoberfläche in der Atmosphäre ausgebreitet haben. In diesem Falle kann man nach zwei bis drei Monaten, wenn die radioaktiven Substanzen ihre größte Wirksamkeit erlangt haben, versuchen, eine Änderung im Verlauf der monatlichen Mittelwerte aufzufinden, und zwar an verschiedenen Punkten des Erdballes.

Die Wasserstoffbombenexplosion vom 1. März 1954 auf Bikini bot eine günstige Gelegenheit für diese Untersuchungen. In der UdSSR wurden an fünf verschiedenen Beobachtungsplätzen, nämlich in Leningrad, Moskau, Swerdlowsk, Taschkent und Wladiwostok, die monatlichen Mittelwerte von Lufttemperatur, Bewölkung, Niederschlagsmenge und Windgeschwindigkeit registriert, und zwar in den Monaten März, April und Mai 1954. Auf allen fünf Stationen blieben die Werte für das Jahr 1954 innerhalb

Neben kurzlebigen Zerfallsprodukten werden als Folge von Kernreaktionen auch langlebige Stoffe, wie Sr^{90} , gebildet. Bei der Detonation einer großen Wasserstoffbombe entsteht Sr^{90} mit einer Aktivität von etwa 10^6 Curie. In der obersten Schicht der Erdoberfläche besteht von Natur aus eine Sr^{90} -Aktivität von etwa 10^{-3} Curie/ km^2 , auf der gesamten Festlandfläche also 10^5 Curie. Durch die Explosion einer Wasserstoffbombe wird die Sr^{90} -Aktivität um mehr als eine Größenordnung erhöht, wodurch die Gesamtaktivität des verseuchten Geländes um 1 bis 2% anwächst und längere Zeit auf diesem Wert bleibt.

Im Gegensatz zu den anderen physikalischen Zustandsänderungen verändern die radioaktiven Erscheinungen infolge der Bombenexplosionen weite Räume der Erdoberfläche und der Lufthülle für längere Zeit.

Die natürliche Radioaktivität der Atmosphäre unterliegt Schwankungen, die im wesentlichen durch Luftwirbel und -strömungen hervorgerufen werden; ihre Erhöhung hat ein Anwachsen der Ionenkonzentration und — wie Berechnung und Beobachtung zeigen — der elektrischen Leitfähigkeit zur Folge. Man könnte nun annehmen, daß eine Vermehrung radioaktiver Substanzen in der Atmosphäre die Ionenkonzentration erhöht. Eine Erhöhung der Konzentration schwerer Ionen hängt ebenso wie jegliche Änderung des Ionengleichgewichtes nicht nur von der Menge der radioaktiven Produkte, sondern auch von dem Vorhandensein aerosoler Beimischungen, wie Staub, Rauch oder dergleichen, ab. Berechnungen und Beobachtungen bestätigen ein Anwachsen der Leitfähigkeit der Luft in beträchtlichen Entfernungen vom Explosionsherd.

Man könnte nun vermuten, daß eine Erhöhung der Ionenkonzentration sich auf die Kondensation auswirkt, denn es ist bekannt, daß sich der Wasserdampf auf geladene Teilchen schon bei einem niedrigeren Dampfdruck niederschlägt als auf ungeladene Kondensationskerne. Die Anzahl von Kondensationskernen natürlicher Herkunft ist aber so reichlich, daß ihre Erhöhung die Wolkenbildung fast nicht beeinflusst. Eine geringe Auswirkung zeigt sich höchstens darin, daß bei einem hohen Überangebot an Kernen die Tröpfchen kleiner werden, was die Wolkenbildung ein wenig beschleunigt, das Einsetzen von Niederschlägen aber verzögert. Das gilt aber nur für die Troposphäre; in der Stratosphäre ist nämlich die Zahl der natürlichen Kondensationskerne nicht immer ausreichend. Hier könnte ihre Erhöhung die Wolkenbildung erleichtern. Da in der Stratosphäre aber wenig Wasserdampf vorhanden ist, kommt es nicht zu Niederschlägen. Die optischen Verhältnisse der höchsten Schichten ändern sich in stärkerem Maße als durch die Staubeilchen allein, da diese kleiner sind als die auf den geladenen Kernen niedergeschlagenen Wassertröpfchen und Eiskristalle.

Bei dem Entstehen von Niederschlägen spielt die Koagulation infolge der Schwere eine bedeutende Rolle. Die Tröpfchen fallen verschieden schnell, und es kommt zu Zusammenstößen und zu einem Ineinanderfließen. Nach neueren Berechnungen geht die Koagulation der kleinen Tröpfchen in den Wolken rascher vor sich, wenn sie elektrisch geladen sind.

rend die auf Staub und Tröpfchen niedergeschlagenen aktiven Partikel außerordentlich langsam zur Erde niedersinken. Untersuchungen haben ergeben, daß der im Explosionsgebiet niedergegangene Anteil bei einer Bodenexplosion verhältnismäßig gering und bei einer Luftexplosion sogar vollkommen unbedeutend ist.

Sich ein genaues Bild von der Ausbreitung der aktiven Wolke zu machen, ist sehr schwer, doch kann folgende Tabelle — bei der übrigens die infolge der Schwerkraft zum Erdboden gesunkenen Anteile nicht berücksichtigt sind — einen Begriff vermitteln.

Zeit nach der Explosion	Abstand vom Explosions-Zentrum km	Äquivalent 20 Tausend Tonnen Trinitrotoluol			Äquivalent 20 Millionen Tonnen Trinitrotoluol		
		Gesamtaktivität	Wolkenvolumen	Konzentration	Gesamtaktivität	Wolkenvolumen	Konzentration
		Curie	km ³	Curie km ³	Curie	km ³	Curie km ³
1 Minute	1	10 ¹²	1	10 ¹²	10 ¹⁵	10	10 ¹⁴
1 Stunde	50	6 · 10 ⁹	3 · 10 ²	10 ⁷	6 · 10 ¹⁴	10 ⁴	10 ¹⁰
1 Tag	1000	1,3 · 10 ⁸	2 · 10 ⁵	10 ³	1,3 · 10 ¹¹	10 ⁵ - 10 ⁶	10 ⁶ - 10 ⁵
1 Woche	7000	1,3 · 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁻¹	1,3 · 10 ¹⁰	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁴ - 10 ³
1 Monat	—	2,3 · 10 ⁶	10 ⁸ - 10 ⁹	10 ⁻² - 10 ⁻³	2,3 · 10 ⁹	10 ⁸ - 10 ⁹	1 - 10
1 Jahr	—	1,1 · 10 ⁵	~ 10 ⁹	~ 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁸	~ 10 ⁹	10 ⁻¹

Nach Beobachtungen japanischer Wissenschaftler betrug die Luftaktivität pro km³ sechs Monate nach der Sprengung der Wasserstoffbombe von Bikini am 1. März 1954 mit einem Äquivalent von 15 Millionen Tonnen Trinitrotoluol immer noch 10⁻³ bis 10⁻¹ Curie, womit die Richtigkeit der Tabellenwerte bestätigt wird. Infolge des ständigen Zerfalls der Radium- und Thoriumemanation enthält die natürliche Atmosphäre immer radioaktive Zerfallsprodukte, deren spezifische Aktivität in den niedrigsten Schichten etwa 10⁻¹³ Curie/Liter oder 10⁻¹ Curie/km³ beträgt, in den höheren Schichten ist sie größer. Die Aktivität der gesamten Atmosphäre, ihre Dicke zu 10 km gerechnet, beläuft sich daher auf etwa 10⁹ bis 10⁸ Curie. Nach der Sprengung einer großen Wasserstoffbombe übertrifft die in der Wolke noch nach einem Monat vorhandene Menge radioaktiver Produkte die in der gesamten natürlichen Atmosphäre der Erde existierenden aktiven Stoffe in ihrer Aktivität um ein Mehrfaches! Dabei haben sich dann die künstlichen Zerfallprodukte erst auf 1/10 — 1/100 der Erdatmosphäre verteilt.

Auch auf der Erdoberfläche ist ein entsprechendes Ansteigen der Aktivität nach der Explosion zu beobachten. Die natürliche Aktivität beträgt hier etwa 1 Curie/km², das bedeutet ungefähr 2 · 10⁸ Curie für die gesamte Erdoberfläche. Ein Teil der bei der Sprengung einer großen Wasserstoffbombe gebildeten radioaktiven Stoffe kann sich noch nach Monaten an irgendeinem Punkt der Erdoberfläche niederschlagen und dort die effektive Oberflächenkonzentration der natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffe um ein Vielfaches übertreffen.

Lebensdauer auch länger ist. Die thermodynamische Wirkung einer Atomexplosion auf die Atmosphäre ist somit gering im Vergleich zu natürlichen Vorgängen, und zwar in direkter wie in indirekter Beziehung. Bei einem langsamen Verbrauch eben dieser Energie würde sicher ein größerer Effekt sichtbar werden.

Änderung der optischen Eigenschaften der Atmosphäre.

Explodiert eine Atombombe auf dem Erdboden, so werden große Mengen fester Teilchen in die Luft geschleudert; die größeren fallen natürlich bald wieder herab, während der Staub längere Zeit schwebend in der Atmosphäre verweilt. Während diese Staubwolke einen Teil des Sonnenlichtes streut oder reflektiert, die Wirkung der Sonne also beeinträchtigt, wird die längerwellige, von der Erdoberfläche ausgehende Strahlung, weniger geschwächt. Bekanntlich wurden bei dem großen Ausbruch des Vulkans Krakatau im Jahre 1883 etwa 50 km^3 Lava und Asche ausgeworfen; ein Drittel davon, ungefähr $5 \cdot 10^{10}$ Tonnen (!) hielt sich als Rauch und Staub 2 bis 3 Jahre schwebend in den höchsten Schichten der Atmosphäre (in etwa 80 km Höhe). Nach europäischen aktinometrischen Messungen wurde damals die direkte Sonnenbestrahlung der nördlichen Erdhalbkugel für mehrere Monate um 10–20% geschwächt. Die Mehrzahl der Sachverständigen verneint einen Einfluß dieser vulkanischen Staubmengen auf Wetter und Klima, einige wenige jedoch behaupten, vulkanische Staube und größere Mengen Mikrometeore aus dem kosmischen Raume ständen mit bestimmten Niederschlags- und Fruchtbarkeitserscheinungen, ja sogar mit dem eiszeitlichen Geschehen in Zusammenhang.

Es ist schwer, die bei einer Atombombenexplosion in die Luft geschleuderte Menge fester Bestandteile abzuschätzen, doch kann man mit einer Schicht von 10 cm Dicke und einem Flächenraum von etwa 100 km^2 rechnen, die bei der Detonation einer großen Wasserstoffbombe in die Luft gehoben wird. Diese Menge wiegt etwa $4 \cdot 10^7$ Tonnen. Man kann also höchstens eine Wirkung erwarten, die hundert- bis tausendmal kleiner als die beim Krakatauausbruch ist.

Erhöhung der Radioaktivität der Atmosphäre und der Erdoberfläche.

Bei einer Atombombenexplosion entstehen große Mengen radioaktiver Substanzen, deren Gesamtaktivität nach einer Minute bei der nominellen Bombe 10^{12} Curie und bei der Wasserstoffbombe 10^{15} Curie beträgt. Alle diese Substanzen sind unmittelbar nach der Explosion im Feuerball konzentriert, schlagen sich dann aber auf Wassertröpfchen, Eiskristallen oder festen Bestandteilen der Staubwolke nieder. Dieser letzte Teil hängt in seiner Größe natürlich wesentlich davon ab, ob die Bombe am Boden oder in der Luft explodiert ist. Die Verbreitung der radioaktiven Substanzen in der Atmosphäre wird durch die Bewegung der Tropfen, Kristalle und Bodenbestandteile bestimmt, auf denen sie sich niedergelassen haben. Durch die rasch herabfallenden größeren Teilchen wird der Boden in der Nähe des Explosionsherdes zu einer radioaktiv verseuchten Zone, wäh-

Benordnung 10^4 km^3 in den kristallinen Zustand überführt. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von etwa $0,3 \text{ g/m}^3$ werden dabei ungefähr $2 \cdot 10^{14} \text{ cal}$ als latente Kristallisationswärme freigesetzt; das geschieht auf einem Gebiet von etwa 70 km Durchmesser. Wesentliche Wetterveränderungen erfolgen jedoch dabei nicht.

Nun wird die Explosionsenergie aber ganz plötzlich frei und verteilt sich ungleichmäßig im Raume, während die normalen Schwankungen des Temperaturgleichgewichtes bei wechselnder Bewölkung oder bei der Überführung der Wolken in den festen, kristallinen Aggregatzustand um Größenordnungen langsamer vor sich gehen und sich gleichmäßig über das beobachtete Gebiet ausbreiten. Aus diesem Grunde verringert sich der Einfluß der Bombenexplosion auf das meteorologische Geschehen. Jedoch wird aber in der Umgebung des Explosionszentrums eine geringe Zunahme des Wärmekonvektionsstromes aus niedrigen Luftschichten in höhere stattfinden.

Der aufsteigende Luftstrom.

Die bei der Explosion entstehende Feuerkugel steigt infolge ihres Auftriebes in die Höhe und reißt aus der Umgebung Luft und Wasserdampf mit sich nach oben; nach der Kondensation des Dampfes infolge der Abkühlung entsteht die für die Atombombe charakteristische pilzförmige Wolke, ein der Bildung von Haufenwolken entsprechender, nur viel schneller vor sich gehender Vorgang. Bezüglich der dabei aufgewendeten Energien entspricht der Größenordnung nach die nominelle Atombombe der Bildung einer kleineren Haufenwolke, die große Wasserstoffbombe dagegen der Bildung einer größeren Gewitterwolke. Das Entstehen der Haufenwolken beruht nicht nur auf der Wirkung des vertikalen Konvektionsstromes. Auch die bei der Kondensation des Wasserdampfes freiwerdende Energie spielt dabei eine — möglicherweise noch bedeutendere — Rolle. Das bedeutet, daß ein bestimmtes Volumen Wasserdampf nach seinem Transport nach oben bei der Kondensation mehr Energie abgibt, als zu seiner Anhebung nötig war. Dieser Vorgang wiederholt sich, und deshalb gilt für Haufenwolken ein eigenartiges, etappenweises Bildungsgesetz. Bei der Atombombenexplosion treten solche Vorgänge nicht auf, hier findet die Bildung der Wolke gleichzeitig mit dem Aufwind ihren Abschluß, die Kondensationsenergie fördert ihre Bildung, spielt aber im Vergleich zur Energie der Kettenreaktion keine wesentliche Rolle. Nur in einem Fall, nämlich beim Bombenabwurf auf Hiroshima, entstand ein Aufwind, der mehrere Stunden anhielt, wahrscheinlich aber durch die Großbrände in der Stadt hervorgerufen wurde. Derartige Erscheinungen sind bei großen Feuersbrünsten, z. B. gelegentlich des großen Erdbebens in Yokohama, beobachtet worden. Jedenfalls sind bei anderen Atombombenexplosionen länger andauernde Aufwinde nicht aufgetreten. Im Gegensatz zum natürlichen Vorgang entwickeln sich die Wolken nicht, sie lösen sich im Gegenteil auf, weil der ursprünglich aufsteigende Luftstrom bald zur Ruhe kommt und die zu einer Weiterentwicklung der Wolke erforderlichen Bedingungen nicht erfüllt sind. Nur in ganz besonders günstig gelagerten Fällen kann es zur Bildung sich langsam entwickelnder Haufenwolken kommen, deren

shima und Nagasaki abgeworfenen Bomben entsprechen etwa der nominalen Bombe, während die zu Versuchszwecken in den Jahren 1954/55 gesprengten Wasserstoffbomben in ihrer Wirkung einigen Millionen Tonnen Trinitrotoluol äquivalent waren.

Wir kommen nun zur Betrachtung der infolge von Bombenexplosionen auftretenden physikalischen Veränderungen der Atmosphäre und deren möglichen Einfluß auf die tatsächlich wesentlichen Witterungselemente.

Die Erwärmung.

Ein bedeutender Teil der Explosionsenergie wird als Wärmestrahlung frei und erhitzt die Lufthülle in der Nähe des Explosionsherdes sowie einen entsprechenden Teil der Erdoberfläche. Da der zeitliche und räumliche Verlauf der Erwärmung im Raume und auf der Erdoberfläche schwerlich genau zu berechnen ist, begnügen wir uns mit einer für unsere Zwecke ausreichenden groben Abschätzung. Bei einer nominalen Atombombe beträgt die Strahlungsenergie $7 \cdot 10^{12}$ kcal, bei einer Wasserstoffbombe etwa $7 \cdot 10^{15}$ kcal. (Diese Angaben sind ausländischen Literaturstellen entnommen.) Ein wesentlicher Teil der Energie der Druckwelle wird schließlich ebenfalls in Wärme umgesetzt, so daß man annehmen kann, daß eine nominelle Bombe rund 10^{13} kcal und eine große Wasserstoffbombe rund 10^{16} kcal zur Erwärmung der Luft und der Erdoberfläche im Explosionsgebiet liefert. Diese Wärmemenge verteilt sich nun auf ein großes Luftvolumen. Wir wollen nun verlangen, daß die Grenzen eines Gebietes, in dem eine merkliche Erwärmung der Atmosphäre stattfindet, so weit von dem Herd der Explosion entfernt sind, daß der Strahlungsenergiestrom 1 kcal/cm^2 beträgt. Das entspricht etwa dem Strahlungsenergiestrom der Sonne auf die Erdoberfläche während einer Minute eines mittelheißen Sommertages. Bereits in der ersten Minute nach der Explosion verwandelt sich die Bombenenergie fast vollständig in Wärme. Das Gebiet, innerhalb dessen Grenzen eine merkliche Erwärmung vor sich geht, hat bei der nominalen Bombe einen Durchmesser von 5 bis 10 km und bei einer großen Wasserstoffbombe 20 bis 100 km; das entspricht Flächen von etwa 50 km^2 bzw. 5000 km^2 . Vergleiche ergeben, daß die von den Bomben innerhalb dieser Gebiete in der Luft und an der Erdoberfläche hervorgerufene Erwärmung gleich der durch die Sonne während mehrerer Stunden an einem mittelheißen Sommertag verursacht ist.

Eine Wolkendecke reflektiert bekanntlich etwa 60% der auffallenden Sonnenenergie. Während einer totalen Sonnenfinsternis wird die direkte Sonnenbestrahlung der beschatteten Erdoberfläche fast völlig unterbrochen. Die Wärmewirkung einer Atombombenexplosion ist also bezüglich der Erwärmung der Erdoberfläche und der darüber befindlichen Lufthülle vergleichbar mit den Schwankungen, die durch wechselnde Bewölkung oder durch totale Sonnenfinsternisse hervorgerufen werden.

Für die Störung des Wärmegleichgewichtes kann man noch ein Beispiel anführen. Wenn man im Winter unterkühlte Wolken durch Ausstreuen fester Kohlensäure abschneiden will, werden Wolkenmengen von der Größe

ÜBER DEN EINFLUSS VON ATOMBOMBEN- EXPLOSIONEN AUF WITTERUNGSVORGÄNGE

von

E. K. Fedoroff

(Unwesentlich gekürzte Übersetzung von E. Wilde aus
ATOMNAJA ENERGIJA 1, Heft 5, Seite 103 ff, 1956)

Bei Atombombenexplosionen werden große Energiemengen frei, die sich mehr oder minder auf die physikalischen Verhältnisse der Atmosphäre auswirken können. Es erhebt sich daher die Frage, ob solche Atombombenexplosionen einen Einfluß auf Wetter und Klima haben können. Bei einer Betrachtung dieses Problems muß man erst einmal festlegen, was man unter einem solchen Einfluß eigentlich verstehen will, von welchen Witterungsparametern also die Rede sein soll.

Wir wollen daher nur solche Vorgänge betrachten, die eine wesentliche Bedeutung für die Menschheit haben, nämlich die Lufttemperatur, die Niederschlagsmenge, die Bewölkung und die Luftbewegungen. Alle diese Witterungsgrößen ändern sich bekanntlich an einem beliebigen Ort der Erde innerhalb beträchtlicher Grenzen und unterliegen täglichen und jährlichen Schwankungen. Durch Atombombenexplosionen hervorgerufene Wetterveränderungen könnten eine praktische Bedeutung erlangen, wenn sie in bezug auf ihren Umfang und ihre räumliche Ausgedehtheit mit den natürlichen Schwankungen vergleichbar werden.

Schließlich kann neben den unmittelbaren Einwirkungen auch ein indirekter Einfluß erwartet werden. Die elementaren Vorgänge in der Atmosphäre, die Bewegungen der Luftmassen, das Verdampfen und Kondensieren des Wassers und der Wärmeaustausch zwischen Festland, Meer und Lufthülle, befinden sich in einem dynamischen Gleichgewicht, das jedoch häufig labil ist, so daß ein relativ energiearmer Prozeß doch zu einer Änderung der Witterungsvorgänge in großem Maßstab führen kann. Die Atombombenexplosionen müssen also auch von diesem Standpunkt aus betrachtet werden.

Bezüglich der bei Atombombenexplosionen frei werdenden Energie wollen wir uns noch genauer festlegen und zwei Fälle unterscheiden: erstens betrachten wir die sogenannte „Nominelle Atombombe“, deren Zerstörungskraft der von 20 000 Tonnen Trinitrotoluol entspricht, und zweitens eine große Wasserstoffbombe, deren Äquivalent 20 000 000 Tonnen Trinitrotoluol beträgt. Die von den Amerikanern auf die japanischen Städte Hiro-

INHALT

	Seite
Über den Einfluß von Atombombenexplosionen auf Witterungsvorgänge. Von E. K. Fedoroff (Übersetzt von E. Wilde)	3
NEUERE ARBEITEN	
1. Kernenergietechnik	
Kernkraft für die Luftfahrt	12
Die sowjetische Konzeption eines kernenergiegetriebenen Flugzeuges	14
2. Anwendung von Isotopen	
Typen und mögliche Anwendungen der Kernbatterien	14
Kernenergie-Batterien	16
20 kV — Sr^{90} — Batterien	16
Eine Pm^{147} — Kernbatterie	16
3. Kernphysikalische Probleme	
Die Seltenen Erden als zukünftige Reaktor-Kontrollmaterialien	17
Zirkonium als Reaktor-Material —	18
4. Experimentelle Technik und Geräte	
Pumpen für flüssige Metalle	18
UMSCHAU	
Friedliche Verwendung der Atomenergie	19

Redaktion: Dipl.-Physiker Karlheinz Krebs
 Anschrift des Herausgebers: Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher
 Kenntnisse, Abt. Naturwissenschaften, Berlin C 2, Schießfach 22, Tel. 510221
 Die Vortragsinformationen erscheinen dreimal im Jahr. Preis pro Heft: 0,50 DM.
 Redaktionsschluß der Nr. 2/57: 15. Juli 1957. Als Manuskript gedruckt.

Ag 215/57 DDR

Druck: W. Säuberlich, Hohen Neuendorf

GESELLSCHAFT
ZUR VERBREITUNG WISSENSCHAFTLICHER KENNTNISSE
PRASIDIUM

VORTRAGSINFORMATIONEN
AUS
KERNPHYSIK UND KERntechnik

(Information Nr. 2/1957)



SEKTION PHYSIK